

Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület  
Miskolci Csoportja  
TÜKI Tűzeléstechnikai Kutató és Fejlesztő Vállalat  
Tudomány és Technika Háza Miskolc

# TÜZELÉSTECHNIKA „92“

XXVIII. Ipari Szeminárium

1992. augusztus 26—28.

Tudomány és Technika Háza Miskolc

# GAZDASABOS TOZALLÓ FALSZERKEZETEK TERVEZÉSE

Dr. MIKÓ József

Dr. SZEMELWEISZ Tamásné

Miskolci Egyetem - Tüzeléstechnikai Tanszék

Dr. JARMAY Károly

Miskolci Egyetem - Szállítóberendezések Tanszék

## Bevezetés

Mindig, de napjainkban különösen fokozódik az igény a termelés racionalizálása, az adott ismeretszint melletti gazdaságossá tételére.

A gazdaságban a szervezési, irányítási, technológiai, értékesítési stb. területek mellett a szerkezettervezés fejlettsége, színvonala meghatározó szerepet játszik. A szerkezettervezés területén az anyag és energia-takarékosságra, a tervezés megbízhatóságára és időigényének csökkentésére irányuló törekvések jelentősen befolyásolják a termék gazdaságosságát.

A gépipari és kohászati energiafelhasználás csökkentésének egyik legjelentősebb bázisát az ipari kemencék és egyéb hőtechnikai berendezések képezik. Az ipari kemencék fűtésére felhasznált energia az ország összes energiafelhasználásának 20 %-a.

Tüzeléstechnikai és konstrukciós változtatásokkal a nagyhőmérsékletű berendezések energiafelhasználása csökkenthető.

A konstrukciós változtatások egyik fontos területe a fenti berendezések falszerkezetének korszerűsítése.

A kemencepark nagy hányadának falazatai a telepítésükkel egyidejű műszaki színvonalat képviselik, mert legtöbbször az időközbeni korszerűsítésük is az eredeti tervek szerint történt.

Az iparban egyre romló anyagi lehetőségek még szigorúbban vetik fel a racionalitást, nem lehet ez másképp a kemencefalazatok kialakításánál sem.

A kemencéknél a teljes szerkezetet tekintve a falszerkezet igen jelentős költséghányadot képvisel. Ez a tény motiválja, hogy a gépiparban már régóta elterjedten alkalmazott szerkezetoptimalizálás adaptálásával, tapasztalatainak felhasználásával olyan módszert alakítsunk ki, amellyel lehetőség nyílik a költségek szempontjából optimális falazatok tervezésére és kivitelezésére a technológiai igények messzemenő figyelembevétele mellett.

## A falszerkezet optimalizálásának módszere

A kutatási feladat céljaként egy olyan interaktív döntéstámogató programrendszert kívánunk kifejleszteni, amely személyi számítógépen futtatható. Ennek alapelvét és egy egyszerű feladaton keresztül az algoritmusát ismertetjük a továbbiakban.

A falazat optimalizálása a költségek minimumának megkeresését jelenti. A falazattal összefüggésben alapvetően kétféle költség jön szóba:

- a falazat létesítésének költsége, amely a felhasznált anyag árából és a megvalósítás költségétől függ,

- az üzemelő kemence falazatán keresztül a környezetnek átadott energia, valamint az üzemháttól függően a falazatban tárolt energia költsége.

Mindkét esetben az (kemencefalazat) alábbi paraméterek befolyásolják a költségeket.

1. A falazat geometriai tulajdonságai, (rétegezettisége, a rétegek vastagsága, stb.)

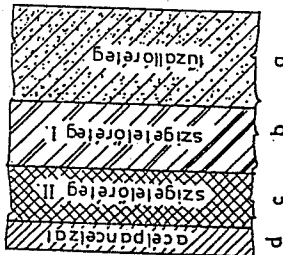
2. Az alkalmazott anyagok fizikai tulajdonságai (hővezető képesség, tözállóság, hőkapacitás stb.)

3. A kemence üzemháttja (folyamatos, szakaszos).

Figyelembe véve a területi korlátokat és egyéb célszerűségi szempontokat, az alábbi egyszerűsítéseket hajtottuk végre:

- a kemencefalazat maximum 4 rétegből áll, melyből az acélpáncél adott vastagságú és így ennek optimális méretezését most nem vizsgáljuk,
- a három réteg vastagsága változó lehet, adott alsó és felső határ között, megadott vastagságváltozás figyelembe vételével,
- a falat vizsgálunk,
- a tözállósági, összeépítési szempontok figyelembevételével szőkítettük a figyelembe vehető anyagok számát és kombinációikat,
- folyamatos működésű kemencét feltételeztünk.

Mindzeket figyelembe véve a falszerkezet legyen a következő:



Mint említettük, a d réteget valamennyi változatban azonosnak vesszük, ezzel a továbbiakban nem számolunk. Az a, b, c, rétegekre az alábbi feltételeket szabjuk:

$$a + b + c = 0,5 \text{ és}$$

$$\begin{aligned} a_{\min} &= 0 & b_{\min} &= 0 & c_{\min} &= 0 \\ a_{\max} &= 0,5 \text{ m} & b_{\max} &= 0,5 \text{ m} & c_{\max} &= 0,01 \text{ m} \\ \Delta a &= 0,05 \text{ m} & \Delta b &= 0,05 \text{ m} & \Delta c &= 0,001 \text{ m} \end{aligned}$$

A kiinduló adatbázisunkat úgy alakítottuk ki, hogy abban minden használatos és jellemző anyagféleség jelen legyen. A felhasznált anyagokat az 1. sz. táblázat tartalmazza.

Samott	Habsamott	Beton	Szállas
a réteg	T4, R2	DVMS, L18, FL10	RATH, KMOD1260, KMOD1650/80
b réteg	DVMS, L04, L12	Sibrál, RATH, KMOD1260	
c réteg	L04	Sibrál, Isolyth, KMOD1260	

1. táblázat

Az optimalizáláshoz meg kell alkotni azt a függvényt (célfüggvényt), amelynek a szélsőértéke adja az optimumot. Esetünkben ez a költségfüggvény:

$$K = K1 + K2 + K3 \quad \text{Ft/év}$$

ahol:

- K1 - anyagköltség,
- K2 - beépítési költség,
- K3 - folyamatos felvesztesség okozta energiaköltség.

A létesítés költségei az amortizáció segítségével osztható el a kemence működésének idejére. A kialakult gyakorlatnak megfelelően 3 éves leírási időtartamot vettünk figyelembe.

$$K1 + K2 = \frac{a(P_a + L_a)}{3} + \frac{b(P_a + L_b)}{3} + \frac{c(P_c + L_c)}{3} \quad \text{Ft/év}$$

ahol:

- $P_a, b, c$  - az anyagár Ft/m<sup>3</sup>
- $L_a, b, c$  - a beépítési ár Ft/m<sup>3</sup>

Az üzemelés során fellépő energiavesztesség költsége:

$$K3 = \dot{q} \cdot t_{ev} \cdot P_{vesztessveg}$$

ahol:

- $\dot{q}$  - a folyamatos felvesztesség,
- $\dot{q} = \rho \cdot A$  és  $A = 1 \text{ m}^2$ , akkor

$$\rho = \frac{T_{b0} - T_{b1}}{\sum_i \frac{S_i}{\lambda_i}} \quad \text{vagy} \quad U = \frac{T_{b0} - T_{b1}}{\frac{1}{\alpha_b} + \sum_i \frac{S_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k}}$$

ahol:

- $\rho$  - a hőáram sűrűség, W/m<sup>2</sup>, °C
- $T_{b0}$  - a falazat belső hőmérséklete, °C
- $T_{b1}$  - a falazat külső hőmérséklete, °C
- $S_i$  - rétegvastagság, m
- $\lambda_i$  - a belső hővezetési együttható, °C
- $T_k$  - a környezeti hőmérséklet, °C
- $\alpha_b$  - hőátadási tényező a kemencetér és a fal felület között, W/m<sup>2</sup>, °C
- $\alpha_k$  - hőátadási tényező a kemencefal és a környezet között, W/m<sup>2</sup>, °C
- $t_{ev}$  - a kemence évi üzemideje, h
- $P_{vesztessveg}$  - a tüzelőanyag egységára, Ft/kJ

A költségfüggvényt tehát a következőképpen írhatjuk fel:

$$K_{a,b,c} = \frac{a(P_a + L_a)}{3} + \frac{b(P_b + L_b)}{3} + \frac{c(P_c + L_c)}{3} + \frac{T_{b0} - T_{b1}}{\frac{1}{\alpha_b} + \sum_i \frac{S_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k}} \cdot t_{ev} \cdot P_{vesztessveg} \quad \text{Ft/év}$$

## Az optimumkeresés algoritmusai

Ezzel eldállítottunk egy három paraméterű függő cél-függvényt, amelynek minimuma adja az optimumot. A cél-függvény optimumának megkeresésére számítógépes algoritmust kerestünk. Erre alkalmasnak bizonyult a Rosenbrock-féle Hillclimb algoritmus módosított változata.

Az eredeti algoritmus maximalja az  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$  függvényt (cél-függvény), a következő feltételek esetén:

$$x_i^l \leq x_i \leq x_i^u \quad i = 1, 2, \dots, M \quad x_i \geq 0$$

A cél-függvény többváltozós, nemlineáris a méretezési feltételek nemlineáris, többváltozós, egyenlőtlenségi feltételek.  $N$  a változók száma (explicit változók),  $M$  a feltételek száma (implicit változók). Az explicit változók a szerkezet geometriai paraméterei lehetnek. Ezért is lényeges az  $x_i \geq 0$  egyenlőtlenség, mely csak pozitív értékeket enged meg a változókra.

A program megkeresi a cél-függvény extrémumát a feltételek teljesülése esetén. Az extrémum általában a minimális tömeget, minimális költséget, maximális megbízhatóságot stb. jelent. Az implicit változók,  $x_{N+1}, \dots, x_M$  függvényei az explicit független változókhoz.

Az eljárás Rosenbrock (1) (1960) kereső módszerén alapul. A koordinátarendszer-forgatáson alapuló módszer a Hooke and Jeeves (1961) algoritmus továbbfejlesztésének tekinthető.

Az algoritmus a koordináta-rendszert forgatja a minimálás minden egyes lépésében olyan módon, hogy az első irány a cél-függvény-felület legmeredekebb változása felé mutat, a többi irány pedig merőleges az első irányra. A módszer deriválást nem végez.

Azért, hogy az algoritmus beépíthető legyen az interaktív többcél-függvényes optimáló programrendszerbe, átalakítottuk a következő módon. Az algoritmus a cél-függvény minimumát határozza meg az eddigi maximum helyett  $f(x_1) \Rightarrow \text{minimum}$ .

A méretezési feltételek: explicit  $x_i - x_i \leq x_i^u$  ( $i=1, 2, \dots, N$ )  
Implicit feltételek :  $g_j(x_1) \geq 0$  ( $j=1, 2, \dots, P$ )

Az algoritmus igényli megfelelő kezdőpont megadását, ezért a komplex algoritmushoz hasonlóan kiegészítettük egy megfelelő kezdőpontkereső programrészszel.

Az algoritmus hatékonysága szempontjából lényeges rész a határzónába eső pontoknál a függvénymódosítás kifejezése (2).

## Számítási eredmények

A számítások alapját képező adatbázis főbb elemeit a 2. táblázatban foglaltuk össze.

Az anyagi mindség figyelembevétele (az optimalizálásnál a rendelkezésre álló igen sokféle anyagminőség és ezek szinte végtelen számú kombinációja miatt) meglehetősen bonyolult. A egyszerűsítés céljából - mint említettük - korlátoztuk a figyelembe vett kombinációk számát. Az alábbi nyolcféle változatot vizsgáltuk (3. táblázat).

Anyagminőség, Alk.hóm.	Sűrűség	Hővez.tényező	Δr (Ft/m <sup>2</sup> )
Jellemzők	°C	kg/m <sup>3</sup>	W/m, °C
			anyag bedolg.

A számítási eredmények a 4. táblázatban találhatók.

Az eredményekből az optimalásra vonatkozóan az alábbi általános következtetések vonhatók le:

- a méretkorlátozási feltételek általában aktívak, tehát nagy szerepe van az eredmény szempontjából az alsó és felső mérhetőárok megadásának,
- az optimalás során egyes rétegvasztások zérus értékek lehetnek, tehát feleslegeseek, nem tudják csökkenteni a célfüggvény értékét.

mint a táblázatból látszik, minden falszerkezet esetében a hőmérséklet (900 °C és 1350 °C) belső falhőmérséklet esetére is érvényesül. Egy-egy hőmérséklet esetében a falvastagságok a számítások alapján megadottak. A számítások során a hőátviteli tényezőket a hővezetési együtthatókra osztva kaptuk meg. A számítások során a hőátviteli tényezőket a hővezetési együtthatókra osztva kaptuk meg. A számítások során a hőátviteli tényezőket a hővezetési együtthatókra osztva kaptuk meg.

A célüggyvény minimumát, tehát a legkisebb éves költséget a 3. feladatban találunk, amely olyan falszerkezetre vonatkozó számítás, amely csak két rétegből áll, de csak ún. szűlő szigeteldanyagot tartalmaz. Ennél még az 1350 °C belső hőmérsékletet feltételező változata esetén is az összes többi változathal kisebb költség adódik.

A maximális költség a 2. feladatnál adódott. E feladat mellett még 3 rétegű, vagyis samott téglá mellett habsumott és szigetelőanyag szerepel benne.

Samott	1400	1850	0,87+4,1.10 <sup>-4</sup> T	23998	20000
T4					
Habsamott					
00VM3	1380	550	0,2515+3,2.10 <sup>-4</sup> T	52480	7400
00VM5	1400	800	0,319+5,96.10 <sup>-4</sup> T	47732	7150
Betonok					
L118	1380	2000	0,9157-5,6.10 <sup>-4</sup> T	99200	20000
L112	1240	1950	0,779-4,96.10 <sup>-4</sup> T	74256	20000
FL10	1300	1400	0,65-4,05.10 <sup>-4</sup> T	92700	17000
L04	1000	510	0,1605-3,46.10 <sup>-4</sup> T	34800	7500
Szálas anyagok					
Isolyth	700	120	0,124	4480	4500
Sibral	1100	130	3.10 <sup>-3</sup> +2.10 <sup>-4</sup> T	34650	10000
RATH KNOD					
1650/80	1650	160	6,87.10 <sup>-3</sup> -1,74.10 <sup>-4</sup> T	36000	13500
RATH KNOD					
1260	1260	130	2,7.10 <sup>-3</sup> +6,4.10 <sup>-4</sup> T	30000	11000

## 2. táblázat

	1	2	3
1.	T4	DVM3	Isolyth
2.	T4	DVM5	Sibral
3.	DVM5	L04	Isolyth
4.	L18	L04	Sibral
5.	FL10	L04	Sibral
6.	T4	KMOD1260	-
7.		L04	-
8.		KMOD1650/80	Isolyth

3. tabizat

KEHENCE OPTIMALIS MERETEZESE  
JARNAI MISKOLCI EGYETEN 1992(C)

1. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.047	0.324	0.080
900	0.050	0.350	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

2. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

3. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

4. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

5. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

6. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

7. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

8. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

9. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

10. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

11. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

12. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

13. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

14. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

15. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

16. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

17. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

18. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

19. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

20. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

21. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

22. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

23. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

24. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.000	0.370	0.080
900	0.000	0.400	0.080
1350	0.000	0.370	0.080
1350	0.000	0.400	0.080

KEHENCE OPTIMALIS MERETEZESE  
JARNAI MISKOLCI EGYETEN 1992(C)

5. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.020	0.350	0.080
900	0.050	0.340	0.080
1350	0.000	0.350	0.080
1350	0.000	0.340	0.080

5. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.020	0.350	0.080
900	0.050	0.340	0.080
1350	0.000	0.350	0.080
1350	0.000	0.340	0.080

5. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.020	0.350	0.080
900	0.050	0.340	0.080
1350	0.000	0.350	0.080
1350	0.000	0.340	0.080

5. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.020	0.350	0.080
900	0.050	0.340	0.080
1350	0.000	0.350	0.080
1350	0.000	0.340	0.080

5. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.020	0.350	0.080
900	0.050	0.340	0.080
1350	0.000	0.350	0.080
1350	0.000	0.340	0.080

5. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.020	0.350	0.080
900	0.050	0.340	0.080
1350	0.000	0.350	0.080
1350	0.000	0.340	0.080

5. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.020	0.350	0.080
900	0.050	0.340	0.080
1350	0.000	0.350	0.080
1350	0.000	0.340	0.080

5. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.020	0.350	0.080
900	0.050	0.340	0.080
1350	0.000	0.350	0.080
1350	0.000	0.340	0.080

5. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.020	0.350	0.080
900	0.050	0.340	0.080
1350	0.000	0.350	0.080
1350	0.000	0.340	0.080

5. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.020	0.350	0.080
900	0.050	0.340	0.080
1350	0.000	0.350	0.080
1350	0.000	0.340	0.080

5. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.020	0.350	0.080
900	0.050	0.340	0.080
1350	0.000	0.350	0.080
1350	0.000	0.340	0.080

5. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.020	0.350	0.080
900	0.050	0.340	0.080
1350	0.000	0.350	0.080
1350	0.000	0.340	0.080

5. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.020	0.350	0.080
900	0.050	0.340	0.080
1350	0.000	0.350	0.080
1350	0.000	0.340	0.080

5. FELADAT			
TFB	X(1)	X(2)	X(3)
900	0.020	0.350	0.080
900	0.050	0.340	0.080
1350	0.000	0.350	0.080
1350	0.000	0.340	0.080

A számítás eredményeként a samotrétég vastagsága 0-ra adódik, ami azt jelenti, hogy a költségek minimuma megköveteli a réteg elhagyását. Az eredmény ez esetben sem meglepő, hiszen a drága szálak szigetelőanyagot feleslegesen alkalmazni hideg oldali szigetelésként a szigetelő tulajdonsággal is rendelkező habcsomó mellett.

A közölt eredményekből túlzottan messzemenő következtetéseket nem lehet levonni, mert az egyszerűsítések miatt meg lehetőségek erőszakoltnak tűnnek a különböző falszerkezetek összehasonlítása. Mindenesetre azt a célt, hogy a módszer alkalmazhatóságát bizonyítsuk, elérte.

Az Országos Tudományos Kutatási Alap finanszírozásában egy négyéves kutatási program keretében ezt a feladatot szeretnénk a bemutatotttal sokkal általánosabb feltételek esetén megoldani.

# Irodalom

- (1) Rosenbrock, H.H.: An automatic method for finding the greatest or least value of a function. Computer Journal, 1960. Vol. 3. No. 3. p. 175-184.
- (2) Jármai, K.: Single - and multicriteria optimization as a tool of decision support system. Computers in Industry, 1989. Vol. 11. No. 3. p. 149-266.